591.92
V.55n
V.1
no.6

ISTITUTO DI BIOLOGIA MARINA PER L' ADRIATICO
VENEZIA

NOVA THALASSIA

Vol. I - N. 6

WILHELM NÜMANN

Beiträge zur Hydrographie des Vrana-Sees (Insel Cherso), insbesondere Untersuchungen über organische sowie anorganische Phosphor - und Stickstoffverbindungen

ISTITUTO TIPOGRAFICO EDITORIALE - LIDO-VENEZIA
1949

591.92
V55n
v.1
no.6

WILHELM NÜMANN

Beiträge zur Hydrographie des Vrana-Sees (Insel Cherso), insbesondere Untersuchungen über organische sowie anorganische Phosphor - und Stickstoffverbindungen (1)

Im nördlichen Teil der Adria liegt die Insel Cherso mit dem Vrana-See. Karstige Höhenzüge, die fast 300 m hoch sind, umgeben den romantischen See trichterfömig. Vor den meisten Winden ist der See gut geschützt und nur der Scirocco kann in der Längsachse auf den See niederfallen und das Wasser im Nordteil aufpeitschen. Der Wasserspiegel liegt durchschnittlich 5 m über dem Niveau des Meeres. Nach früheren Messungen beträgt die grösste Tiefe in einer trichterförmigen Senke 84 m. Obgleich ich die steilabfallende Senke wieder ausfindig machen konnte, erreichte ich trotz gründlichster Ausmessung maximal nur noch eine Tiefe von 76 m. Ich halte es für ausgeschlossen, die früher gemessene tiefste Stelle verfehlt zu haben. Wahrscheinlich hat sich also das in früheren Zeichnungen geradezu als Trichterstiel erscheinende Loch inzwischen angefüllt.

Bis auf einige kleinere Quellen sind sichtbare Zu - und Abflüsse nicht vorhanden. Um so mehr ist aber von nicht nachgewiesenen unterirdischen Verbindungen mit dem Meere oder gar mit der dalmatinischen Küste geredet worden. Nach Berechnungen von Cecconi genügen jedoch die Niederschläge des Einzugsgebiets, um den durch Verdunstung enstandenen Wasserverlust zu decken.

Die Sichttiefe beträgt nicht selten 15 m und kennzeichnet den stark oligotrophen Charakter des Sees.

Die Untersuchung des Vrana-Sees schien deswegen lohnenswert, weil er völlig isoliert ist und keine wesentlichen Zu - oder Abflüsse besitzt. Ich hoffte

(1) Die Untersuchungen wurden am Deutsch-Italienischen Institut für Meeresbiologie in Rovigno ausgeführt und das Material am Institut für Seenforschung, Langenargen ausgewertet.

LIBRARY
UNIVERSITY OF ILLINOIS

daher einmal den Nährstoffkreislauf eines Sees beobachten zu können, der durch « Aussenfaktoren » nicht gestört ist. Ferner versprachen die Untersuchungen deswegen interessant zu werden, weil sie zeigen mussten, ob der Vrana-See mit dem Meere oder mit dalmatinischen Quellen in Verbindung steht.

Parallel zu den chemischen Untersuchungen sollte auch das Plankton qualitativ und quantitativ bestimmt werden. Darum wurden gleichzeitig bei der Entnahme von Wasserproben jeweils 40 - 50 lt Wasser in Stufen zu 5 m bis zu einer Tiefe von 30 m geschöpft, durch ein Planktonnetz filtriert und eingeengt. Ferner wurden kleinere Wasserproben zur Fixierung des Mikroplanktons mit Jod versetzt. Wahrscheinlich sind aber die gesammelten Planktonproben während der Unruhen in Istrien verloren gegangen.

Die Methodik der chemischen Untersuchung habe ich 1949 beschrieben. Die anorganischen P, N und Si Verbindungen wurden noch am Tage der Entnahme untersucht unter Verwendung von Hehner - Zylindern. Die organischen Verbindungen konnten erst einige Tage später im Laboratorium zu Rovigno mineralisiert und mit dem Pulfrich - Photometer bestimmt werden.

DIE TEMPERATUR

Bei der ersten Untersuchung im Dezember 1940 zirkulierte der See bereits bis zu 20 m Tiefe (Tab. I). Zwischen 20 und 30 m Tiefe erfolgte ein leichter Temperaturabfall und unterhalb dieser Schicht herrschte wieder Homothermie bis fast auf den Grund. Da das Hypolimnion einerseits durch eine gewisse Sprungschicht noch vom Epilimnion getrennt, aber andererseits nicht mehr geschichtet war, muss es dort zu Umwälzungen gekommen sein, die mit der Zirkulation des Epilimnions nicht direkt in Verbindung stehen.

TAB. I - TEMPERATUREN ° C.

Tiefe (m)	12.XII	29.III	12.VI	6.VIII	19.XI
0	9,6	7,4	19,0	24,5	10,95
5	—	—	18,2	—	—
10	9,6	6,8	16,6	20,8	10,95
15	—	—	12,7	15,4	—
20	9,6	6,8	10,9	12,8	10,90
25	—	—	9,1	—	—
30	7,7	6,8	8,5	9,9	10,78
35	—	—	—	—	10,44
40	—	—	—	—	9,72
45	—	—	—	—	7,57
50	7,7	6,8	7,8	9,0	7,18
Grund	7,5	6,5	7,8	8,2	7,03

Die nächste Untersuchung fand im März 1941 statt. Die Temperatur war weiter gesunken und der See hatte bereits vollzirkuliert. Indessen herrschte keine völlige Homothermie mehr. In der trichterförmigen Senke war die Temperatur bei 6,5° um 0,3° C niedriger als im freien Wasser. Es ist denkbar, dass dieses die niedrigste Temperatur ist, die während der Vollzirkulation erreicht wurde. Inzwischen waren von der Oberfläche schon wieder neue Wärmemengen aufgenommen und durch Zirkulationen bis fast auf den Grund gleichmässig verteilt worden. Durch weitere Einstrahlung blieb die Oberflächentemperatur aber am höchsten.

Diese Temperaturschichtung war aber noch nicht stabil, denn die Untersuchung im Juni ergab eine weitere Temperaturzunahme am Boden auf 7,8°. Im übrigen zeigte der See im Juni eine normale Sommerschichtung mit einem Temperatursprung zwischen 10 und 15 m.

Bei allgemein etwas höheren Temperaturen blieb die Schichtung im August unverändert und die Sprungschicht lag wie im Juni zwischen 10 und 15 m. Trotz der stabilen Schichtung war die Temperatur aber auch an den tiefsten Stellen im See weiter gestiegen. Wie der Wärmetransport bis dorthin möglich ist, kann ich mir nicht erklären, da z. B. in dem von Zuflüssen und Winden stark beeinflussten Bodensee während des Sommers selbst in 50 m Tiefe nicht mehr die geringsten Temperaturveränderungen vorkommen. Auffallend ist auch, dass der Sauerstoffgehalt zu dieser Zeit am Boden höher war als in 50 m Tiefe.

Im November fiel die Temperatur nahezu auf 11° und bis zu 30 m Tiefe herrschte nahezu Homothermie. Trotz der Schichtung im Hypolimnion nahm auch die Temperatur in bodennahen Schichten seit August von 9 auf 7° ab. Ferner nahm hier der Sauerstoff absolut nicht zu. Wir stellen aber wiederum fest, dass bei einer ausgesprochenen Schichtung im Hypolimnion anscheinend unabhängig vom Epilimnion Veränderungen vonstatten gehen. Man könnte vielleicht denken, dass am Grunde Süsswasserquellen austreten und die Temperaturen und den Sauerstoffgehalt ändern. Da sich aber gleichzeitig keine Veränderungen im Cl-Gehalt zeigen, wie wir später sehen, müssen andere Faktoren hier eine Rolle spielen.

Bisher im einzelnen wenig erforschte hypolimnische Zirkulationen, die nach EINSELE und VETTER auch im eutrophen Schleinsee auftreten, können zwar manche Vorgänge erklären; z. B., wenn die Temperatur am Boden während des Sommers zunimmt. Auf diese Weise kann aber das Wasser in der Tiefe keine niedrige Temperatur annehmen, solange die darüberliegenden Schichten noch wärmer sind. Ich möchte daher glauben, dass besonders im Herbst Wasser, das im Littoral bisweilen viel stärker auskühlt als im Pelagial längs des relativ steilen Seebodens in die Tiefe gleitet und die beobachteten Veränderungen hervorruft.

DER SAUERSTOFF

Bei der Besprechung der Temperaturuntersuchungen wurde schon hervorgehoben, dass der See im Dezember bis zu 20 m Tiefe zirkulierte. Dementsprechend war auch der Sauerstoffgehalt in dieser Schicht bei 100 % Sättigung überall derselbe. Später vor allen Dingen während der Vollzirkulation nahm der ganze See infolge weiterer Temperaturabnahme und höherer Kapazität neue Sauerstoffmengen auf und erreichte im März sein absolutes Maximum. Die leichte Übersättigung an der Oberfläche selbst, die sich trotz höherer Temperatur auch in einer absoluten Sauerstoffzunahme äusserte, könnte auf die Assimilationstätigkeit pflanzlicher Organismen zurückgeführt werden.

Gegen Sommer hin nahm der absolute Sauerstoffgehalt an der Oberfläche, wie in den meisten oligotrophen Seen, stetig ab. Die Abnahme ist wohl allein auf die mit steigender Temperatur herabgesetzte Kapazität zurückzuführen. Die leichte Übersättigung deutet an (Vgl. BIRGE und JUDAY 1914, MINDER 1922, AUERBACH 1926), dass in dem windgeschützten See s ch bei steigender Temperatur das Suaerstoffgleichgewicht nicht schnell genug einstellte. In 10 m Tiefe hingegen nahm der Sauerstoff zwar zum Sommer hin auch noch ab, aber wegen der tieferen Temperatur nicht so stark wie an der Oberfläche. Eine Übersättigung lag aber trotzdem noch vor. (1)

TAB. II - SAUERSTOFF (in mg/l. in Klamuern Sättigungsprozente)

Tiefe (m)	12.XII	29.III	12.VI	6.VIII	19.XI
0	11,40 (100)	12,33 (103)	9,77 (105)	9,31 (110)	10,84 (99)
10	11,30 (99)	12,24 (101)	10,20 (105)	10,97 (123)	11,00 (100)
20	11,23 (99)	12,11 (99)	11,28 (102)	12,21 (116)	10,98 (100)
30	11,01 (93)	11,97 (98)	12,43 (106)	12,53 (111)	12,23 (111)
50	9,24 (78)	11,88 (97)	12,21 (103)	9,02 (79)	11,35 (94)
Grund . . .	10,93 (92)	11,87 (97)	11,48 (97)	10,44 (88)	10,98 (81)

(1) Es ist fraglich, ob man streng genommen noch von einer Übersättigung sprechen kann. Wir sind gewohnt, die Druckverhältnisse in der Seetiefe für den Sauerstoffgehalt unberücksichtigt zu lassen, indem wir mit THIENEMANN davon ausgehen, dass in der Tiefe nicht mehr Sauerstoff auftreten kann als zur Vollzirkulation in Oberflächenwasser vorhanden war. Nun kann aber bis zu gewissen Tiefen absolut durch Assimilation oder relativ durch Temperaturerhöhung der Gehalt an Sauerstoff zunehmen, sodass der Druck doch berücksichtigt werden müsste. An sich ist diese Frage nicht sehr wichtig und nur Definitionssache. Es soll aber betont werden, dass die Übersättigung bei Berücksichtigung des Druckes gegebenenfalls gar kein unstabiler Zustand zu sein braucht.

Im August wurde nach absoluter Sauerstoffzunahme in 10 m Tiefe eine 20 % ige Übersättigung festgestellt. Auch in 20 m Tiefe war noch eine starke Zunahme zu verzeichnen, in 30 m dagegen nur noch eine sehr geringe. Es ist nicht anzunehmen, dass sich Quellwasser in 10 - 20 m Tiefe eingeschichtet und einen erhöhten Sauerstoffgehalt vorgetäuscht hat, da Quellwasser allgemein sauerstoffarm, sicherlich aber nicht stark übersättigt ist. Man möchte die Sauerstoffzunahme zunächst ohne Bedenken auf die starke Assimilationstätigkeit der Phytoplankter zurückführen, wenn sie sich nicht auch in 30 m Tiefe noch schwach bemerkbar gemacht hätte. Für diese Annahme spricht aber die hohe Durchlässigkeit des Lichtes im Vrana-See. Der Fall, dass in diesen Tiefen der Sauerstoff zunimmt, ist nicht alleinstehend. Eine absolute Zunahme und Übersättigung in 10 - 25 m Tiefe während der Sommerstagnation beobachteten AUERBACH, MERKER und SCHMALZ im Bodensee. MINDER weist darauf hin, dass in 15 bis 20 m Tiefe des Zürichsees eine Übersättigung im Frühjahr eintreten kann, die sich mit der räumlichen Ausdehnung und Entfaltung des Phytoplanktons deckt.

Im November fällt die Temperatur und der Sauerstoff nimmt an der Oberfläche bis zur Sättigung wieder zu.

Während das Epilimnion, soweit man überhaupt die Schicht bis 20 m Tiefe im Vrana-See als solche bezeichnen kann, dauernd einen grossen Sauerstoffüberschuss zeigte, war das Hypolimnion, abgesehen von der Vollzirkulation im März, meistens untersättigt. Bis zum August wurde der Sauerstoff in der Tiefe fortlaufend gezehrt. Aus dem Sättigungsgrad ersieht man, dass die Sauerstoffabnahme nicht temperaturbedingt war, sondern von einer Zersetzung organischer Substanz herrührt.

Die Schicht unmittelbar über dem Grunde konnte bisweilen mehr Sauerstoff aufweisen als das Wasser in 50 m Tiefe. Merkwürdigerweise nahm der Sauerstoff auch vom August bis November am Grunde absolut zu, ohne dass es zu einer Zirkulation gekommen wäre. Auf die Feststellung wurde schon bei der Besprechung der Temperaturverhältnisse hingewiesen. Die dort entwickelten Vorstellungen über Veränderungen im untersten Hypolimnion gewinnen also eine weitere Stütze.

DIE KARBONATHÄRTE

Im Vergleich zu den Quellwässern des Karstgebietes besitzt der Vrana-See eine geringe Härte (Tab. III). Die Schwankugen im Kalkgehalt sind auch sehr gering und betragen im Extremfall 0,5 DH°. Wirkliche Differenzen können wir vielleicht nur in der Schichtung vom 6. VIII. erkennen. Es wäre denkbar, dass in der Nähe der Oberfläche eine geringe biogene Entkalkung stattgefunden hat, der eine Härtezunahme am Grunde entsprach.

TAB. III - DIE CARBONATHÄRTE (D. H°)

Tiefe (m)	12.XII	29.III	12.VI	6.VIII	19.XI
0	5,6	5,8	5,7	5,4	5,6
10	5,6	5,8	5,6	—	5,5
20	5,9	5,7	5,6	5,7	5,6
30	5,9	5,7	5,7	5,6	5,6
50	5,9	5,7	5,7	5,7	5,6
Grund . . .	—	5,7	5,7	5,9	5,6

Unerwartet kommt die Härteabnahme am Seeboden im Dezember also bereits vor der Wassererneuerung durch die Zirkulation. Sie kann m. E. auch nur mit den bei der Temperatur — und Sauerstoffuntersuchung entwickelten Vorstellungen über die Veränderungen im Hypolimnion erklärt werden.

Da der Vrana-See keinen Durchstrom hat wie fast alle grösseren Seen, müssen alle Veränderungen im Carbonatgehalt auf die biogene Entkalkung zurückgeführt werden. Wie gering diese in einem streng oligotrophen See ist, zeigt darum der Vrana-See besonders deutlich. Die Bedeutung der biogenen Entkalkung ist in manchen oligotrophen Seen auch überschätzt worden. Sicherlich trifft dieses für den Bodensee zu, dessen Härteabnahme im Sommer nach den Untersuchungen von ELSTER und EINSELE im Gegensatz zu AUERBACH, MERKER und SCHMALZ heute auf die Verdünnung mit Rheinwasser zurückgeführt wird.

DER CHLORGEHALT

Die Chloride spielen im Nährstoffhaushalt der Gewässer eine untergeordnete Rolle. Biogene Veränderungen im Cl-Gehalt sind darum räumlich wie zeitlich nicht zu erwarten. Umsomehr würde eine Zu-oder Abnahme des Cl-Gehaltes beweisen, dass Verbindungen mit dem Meere oder Quellen bestehen.

Bei der ersten allgemeinen Untersuchung des Vrana-Sees im Jahre 1872 fand MEYER 0,089 g/l NaCl und 0,022 g/l $CaCl_2$. Es handelt sich also um geringe Spuren. Immerhin wurde später vermutet, dass unterirdische Verbindungen mit der Adria beständen. Auf Grund einer einmaligen Untersuchung und einer phantasiereichen Konstruktion glaubte PARENZAN auch wissenschaftliche Unterlagen für diese Vermutung bringen zu können. Durch komplizierte Hilfsvorstellungen geblendet, übersieht er aber, dass nach seiner Konstruktion letzten Endes das Adriawasser hätte gegen den Druck des höheren Wasserspiegels vom Vrana-See bergauf laufen müssen. Auch der Schulp eines Tintenfisches, den PARENZAN am See fand, ist nicht beweiskräftig für die Verbindung mit dem Meere ; denn wer hätte noch nicht einige Kilometer von der Küste entfernt ein Stückchen Schulp gefunden, das durch Vögel oder sonst irgendwie verschleppt worden wäre ?

Überzeugender als die Angaben von PARENZAN sind die sehr exakten Untersuchungsergebnisse über den Wasserhaushalt von CECCONI, aus denen hervorgeht, dass die Verbindung mit dem Meere unmöglich ist. CECCONI untersuchte auch den Cl-Gehalt des Sees und stellte fest, dass dieser geringer ist als im Leitungswasser von Pola. Das Wasser schmeckt auch nicht im geringsten salzig. Nach CECCONIS Auffassung sind die geringen Cl-Mengen bei heftigen Stürmen (Bora) als feine Spritzer aus der Adria im Laufe der Zeit bis in den See gelangt. Diese Hypothese scheint zunächst sehr gewagt, indessen sieht man tatsächlich bei Stürmen fein zerstäubte Wassermassen wie Nebelwolken über dem Meere. Ausserdem besitzen auf den Höhen die Blätter bisweilen einen äusserst feinen, salzig schmeckenden Überzug, wie CECCONI bereits hervorhebt.

Die Cl-Mengen, die ich aufgrund der eigenen Untersuchungen zu verschiedenen Jahreszeiten auf dem ganzen Profil gemessen habe, sind in Tab. IV widergegeben. Ich führe diese Werte nur deswegen an, um zu betonen, mit welcher Gleichmässigkeit die Chloride trotz Temperatur - Schichtung usw. zu jeder Zeit unverändert verteilt sind. CECCONI stellte eine sehr leichte Abnahme der Chloride mit zunehmender Tiefe fest.

TAB. IV - Cl-GEHALT (mg/l)

Tiefe (m)	12.XII	29.III	12.VI.	6.VIII	19.XI
0	65	66	66	66	65
10	64	66	66	66	66
20	65	66	65	65	65
30	64	65	65	65	65
50	64	64	65	66	65
Grund . . .	63	65	65	65	65

Ein solches Gefälle ist allerdings physikalisch undenkbar, abgesehen davon, dass meine wiederholten Bestimmungen dagegen sprechen. Auch aus den Werten, die mir Herr Dr. Hans MÜLLER nach einer einmaligen Untersuchung im Jahre 1937 überliess, konnte man auf kein oder höchstens auf ein umgekehrtes Gefälle schliessen.

Aus meinen Untersuchungen geht also hervor, dass der Chloridgehalt im Vrana-See weder durch Süsswasser noch durch Meerwasser verändert wird. Es bestehen also auch keine entsprechenden unterirdischen Verbindungen. Die Chloride mögen daher wirklich, wie CECCONI annimmt, auf dem Luftwege in den See gelangt sein.

Da seit der Untersuchung MEYERS nahezu 70 Jahre vergangen waren, hoffte ich ev. eine messbare Cl-Zunahme konstatieren zu können, die möglicherweise sogar Schlüsse auf das Alter des Sees zulassen. Doch ergaben sich nach der Umrechnung der MEYERSCHEN Werte für $NaCl + CaCl_2$ 68 mg/l Cl, also noch 3 mg mehr als bei meinen Untersuchungen. Dr. MÜLLER fand bei

der erwähnten unveröffentlichten Untersuchung nur 61 - 62 mg/l also sogar 6 mg weniger als MEYER und 3 mg weniger als ich. Streng genommen könnte man also höchstens auf eine Cl-Abnahme schliessen. Wahrscheinlich erlauben die geringen Differenzen aber überhaupt keine Aussage, zumal diese durch Unterschiede in der Methode sowie durch die langjährigen periodischen Schwankungen im Wasserspiegel bzw. Volumen hervorgerufen sein könnten.

DAS SILIKAT

Die Ergebnisse der Silikatuntersuchung lassen keine grossen Schlüsse zu und leiden besonders unter der geringen Zahl von Untersuchungsdaten.

TAB. V - SILIKAT mg atom/m³ Si

Tiefe (m)	12-XII	29-III	12.VI	6.VIII	19.XI
0	7,3	6,8	5,8	2,6	1,8
10	8,2	6,8	6,0	—	—
20	7,3	6,8	8,2	5,0	3,1
30	10,7	6,5	8,9	5,8	3,9
10	8,2	6,8	6,0	—	—
20	7,3	6,8	8,2	5,0	3,1
30	10,7	6,5	8,9	5,8	3,9
50	20,4	6,5	9.9	5,3	3,9
Grund . . .	—	6,8	11,6	8,2	6,5

Für ein Binnengewässer ist der Silikatgehalt des Vrana-Sees sehr gering (Tab. V). Die Mengen sind etwa dieselben wie in der Adria. Bei der ersten Untersuchung im Dezember waren die Konzentrationen in den von der Teilzirkulation erfassten oberen 20 m naturgemäss praktisch gleich. Im Hypolimnion hatte seit der Sommerstagnation eine bedeutende Si-Zunahme und Schichtung stattgefunden. Durch die Vollzirkulation im Herbst wurde die Schichtung aufgehoben. Anstatt einer erwarteten Zunahme durch Vermischung mit Tiefenwasser hatte das Silikat überall ein wenig abgenommen. Da die beiden Untersuchungen zu weit auseinanderlagen, liess sich nicht mehr feststellen, ob in der Zwischenzeit eine grössere Diatomeenentwicklung stattgefunden hatte.

Mit der Ausbildung einer Temperaturschichtung entstanden auch wieder Unterschiede im Si-Gehalt. Im Epilimnion fand, bedingt wohl durch die Diatomeenentwicklung, eine Abnahme des Silikates statt. In der Tiefe nahmen die Si-Konzentrationen zu. Diese Zunahme zeugt von der Auflösung der Diatomeenschalen, die auf den Boden gesunken waren. Mit dieser Vorstellung ist zwar die Si-Anreicherung am Boden hinreichend erklärt, aber nicht das Si-Gefälle. Für das Zustandekommen eines chemischen Gefälles in der Tiefe finde ich über-

haupt noch keine befriedigende Erklärung. Sicherlich können die am Boden gelösten Verbindungen nicht durch Diffusion 45 m hoch gelangen. Ebenso wenig können bei einer stabilen Schichtung Wellen und Strömungen, die an der Oberfläche erzeugt werden, nach den bisherigen Vorstellungen (GROTE) direkt ihre Wirkung bis in 75 m Tiefe ausüben. Daher muss es infolge hypolimnischer Zirkulationen oder im Herbst durch Absinken von Wasser aus flachen seitlichen Stellen des Sees zu garnicht unbeachtlichen Durchmischungen kommen.

Für die allgemeine Abnahme des Siliciums gegen Sommerende und im Herbst kann ich keine Erklärung geben. Wahrscheinlich wird das Epilimnion im August biogen entkieselt worden sein. Grössere Mengen an Phytoplankton müssen vorhanden gewesen sein, wie ja auch die starke Übersättigung mit Sauerstoff beweist. Für die Si-Abnahme im Hypolimnion ist diese Erklärung aber nicht ausreichend.

Für Einzelheiten im Si-Umsatz haben sich die Abstände zwischen den einzelnen Untersuchungen als zu gross erwiesen. Sicherlich würden sie aber in dichterer Reihenfolge wegen der Abgeschlossenheit des Vrana-Sees interessante Ergebnisse bringen.

PHOSPHAT, AMMONIUM, NITRIT, NITRAT UND EISEN

Über die anorganischen Verbindungen dieser Elemente kann für den Vrana-See noch weniger ausgesagt werden als für die meisten oligotrophen Seen. Sie sind eben wirkliche Minimumstoffe und unsere Methoden erlauben es nicht mehr, sie nachzuweisen.

Phosphat wurde nur bei den Untersuchungen im Dezember und März unmittelbar über dem Boden in geringen Spuren (0,005 bis 0,01 mg atom/m^3P) gefunden. Obwohl die Methode eine Bestimmung von 0,005 zugelassen hätte, wurde während der übrigen Zeit in keiner Schicht Phosphatspuren nachgewiesen.

Ammonium, das selbst in stark oligotrophen Seen noch in Konzentrationen von 1 - 2 mg atom/m^3 N vorhanden sein kann, wurde auch mit unserer sehr empfindlichen Methode nicht nachgewiesen. Nur einmal, ebenfalls im Dezember, wurden über Grund sogar relativ grosse Mengen (18 mg atom/m^3 N) gefunden, die sich während der Sommerstagnation gebildet hatten. Nitrite hatten sich ebenso wie Phosphat und Ammonium nur am Ende der Stagnation bei der Dezember-Untersuchung in der Tiefe gebildet. (in 30 m: Spuren; 50 m: 0,007 - 0,015; Grund: 0,03 mg atom/m^3 N).

Die Nitritschichtung wurde aber möglicherweise nur wegen der empfindlichen Methode noch weit über dem Boden entfernt bemerkt. Ganz geringe Spuren zeigten sich schon im August über Grund.

Die meisten oligotrophen Seen weisen relativ grosse Nitratmengen auf und selbst Konzentrationen von 35 - 40 mg atom/m^3 N sind nicht selten. Im

Gegensatz zum Phosphat, Ammonium und Nitrit, liessen sich Nitrate zwar auch im Vrana-See fast zu jeder Jahreszeit nachweisen, jedoch waren die Konzentrationen weit niedriger als in den meisten Seen. Sie sind nur mit den Mengen zu vergleichen, die man gewöhnlich noch im offenen Meere antrifft.

Die Unterschiede im Nitratgehalt, die sich im Laufe des Jahres ergaben, liessen keine grossen Schlussfolgerungen zu (Tab. VI). Die Eigenfärbung des Reagenzes bzw. die Blindwerte entsprechen allein einer Konzentration von rund 5 mg atom/m³ N. Ausserdem erhöhen sich durch die Doppelbestimmung die Fehler, da nach Abzug des grossen Blindwertes die wirklichen NO_3-Mengen als geringe Differenz übrigbleiben.

Tab. VI - NITRAT mg atom/m³ N

Tiefe (m)	12.XII	29.III	12.VI	6 VIII	19.XI
0	0,9	0,5	—	0,6	0,1
10	0,9	0,6	—	0,9	0,2
20	0,9	0,6	—	0,7	0,2
30	0,5	0,9	—	0,6	0,3
50	1,4	0,9	—	0,5	0,4
Grund . . .	1,2	1,2	1,1	0,8	0,7

Infolgedessen liess sich nur feststellen, dass im Vrana-See fast immer 0,5 bis 1 mg atom/m³ N als Nitrat ohne grössere Schichtungen vorhanden sind. Nur am Ende der Sommerstagnation, als nach Mineralisation zu Boden gesunkener Organismen auch die übrigen anorganischen P - und N - Verbindungen nachweisbar wurden, entstand etwas mehr Nitrat.

Das Eisen wurde auch einige Male besonders in der Nähe des Bodens einer Untersuchung unterzogen, weil es für den Phosphathaushalt von grosser Bedeutung ist. Es konnte aber nicht einmal in Spuren nachgewiesen werden.

DIE ORGANISCHEN VERBINDUNGEN

Wegen des hohen Blindwertes, der sich bei der Bestimmung des organisch gebundenen Phosphors ergibt, und wegen der geringen P - Mengen in den Proben selbst, kann man aus den Ergebnissen kei negrosse Schlussfolgerung ziehen. Obwohl Unterschiede von 0,01 mg atom/m³ N noch gut photometrish unterscheidbar sind, habe ich alle Werte auf 0,05 m atom/m³ abgerundet, weil die Fehlerbreite bei der Bestimmung organischer Phosphate relativ gross wird (Tab.

Tab. VII - GESAMT PHOSPHOR (mg atom/m³ P)

Tiefe (m)	12.XII	29.III	12.VI	6.VIII	19.XI
0	0,20	0,15	—	0,15	—
10	0,20	0,10	—	0,15	0,15
20	0,20	0,15	—	0,10	0,10
30	0,15	0,20	—	0,10	0,15
50	0,20	0,15	—	0,15	0,15
Grund . . .	0,20	0,10	—	0,10	0,10

VII). Grosse Veränderungen waren während des ganzen Jahres nicht zu erkennen, auch liessen sich keine gesicherten Unterschiede zwischen trophogener und tropholytischer Zone nachweisen. Durchschnittlich wies der See eine Gesamt-P-Konzentration von 0,15 mg atom oder rund 5 mg/m³ P auf. Soweit mir bekannt ist, sind dieses wohl die geringsten Mengen, die in den bisher untersuchten Seen angetroffen wurden. Ähnliche Werte wurden bisher nur in der Adria und im nordwestlichen Ozean gefunden. Ausser dem Gesamt - P wurden auch gleichzeitig die gelösten (kolloidal) organischen P - Verbindungen bestimmt (Tab. VIII). Da sich fast dieselben Werte wie bei der Gesamtbestim-

Tab. VIII - GELÖSTER PHOSPHOR (Anorganisch und organisch) mg atom/m³ P

Tiefe (m)	12.XII	29.III	12.VI	6.VIII	19.XI
0	0,20	0,10	—	0,10	—
10	0,20	0,15	—	0,10	0,15
20	0,20	0,05	—	0,05	—
30	0,20	0,15	—	0,10	0,10
50	0,20	0,15	—	0,10	0,10
Grund . . .	0,15	0,15	—	0,05	0,05

mung ergaben, muss man annehmen, dass nur äusserst geringe P -Mengen in Organismen eingebaut waren. Die mittlere Differenz zwischen Gesamt - Phosphat und gelöstem Phosphat betrug auf dem ganzen Profil im Dezember 0,01, im März 0,02, im August 0,045 und im November 0,03 mg atom/m³. Die hohen Werte im August sprechen für eine starke Planktonentwicklung, auf die wir bereits wegen der Sauerstoffübersättigung, Härte - und Silikatabnahme im Epilimnion zu dieser Zeit geschlossen haben.

Wie in den meisten Gewässern liegt also offenbar der grösste Teil des Phosphors gelöst in organischer Verbindung vor und stellt für den Nährstoffhaushalt des Sees eine nur langsam angreifbare Reserve dar.

Die Schwierigkeiten, die sich bei der Bestimmung des organisch gebundenen Phosphors ergeben hatten, stellten sich in noch stärkerem Masse bei der Untersuchung des organischen Stickstoffes ein. Die viel weniger empfindlichen Methoden liessen nur erkennen, dass ohne Nitrit und Nitrat an Gesamt-

TAB. IX - GESAMT STICKSTOFF (mg atom/m³ N)

Tiefe (m)	12.XII	29.III	12.VI	6.VIII	19.XI
0	19	21	29	29	—
10	20	23	26	35	21
20	20	48	—	35	21
30	17	23	26	30	21
50	18	25	29	29	24
Grund . . .	18	25	29	19	19

N allgemein während des ganzen Jahres reichlich 20 mg atom oder rund 300 mg/m³ N vorhanden sind (Tab. IX). Wie EINSELE hervorhebt, haben die meisten bisher untersuchten oligotrophen Seen gleich grosse Mengen an organischem Stickstoff: 30 - 40 mg atom oder ungefähr 400 - 600 mg/m³; RUTTNER 400 mg/m³; KARCHER 200 - 600 mg/m³. Die trophogene Schicht eutropher Seen scheint sich dieser allgemeinen Regel einzuordnen (NÜMANN). In dieser Beziehung macht also der Vrana-See keine Ausnahme, wenn er auch an unterster Stelle steht.

Die Untersuchung filtrierter Proben ergab, dass der grösste Teil des Stickstoffs wie beim Phosphor in organischer Verbindung gelöst vorliegt (Tab. X).

TAB. X - GELÖSTER STICKSTOFF IN ORGANISCHER VERBINDUNG (mg atom/m³ N)

Tiefe (m)	12.XII	29.III	12.VI	6.VIII	19.XI
0	18	22	—	29	—
10	18	20	21	27	16
20	17	37	23	29	—
30	9	22	—	21	13
50	9	23	19	30	—
Grund . . .	—	23	20	19	10

Grosse jahreszeitliche Veränderungen in der Konzentration waren nicht zu erkennen. Allerdings zeigte sich, abgesehen natürlich von der Vollzirkulationszeit, allgemein in der tropholytischen Zone eine geringe Abnahme, besonders im November und Dezember, also am Ende der Stagnationsperiode. Diese

Feststellung deckt sich mit meinen früheren Untersuchungsergebnissen, aus denen hervorgeht, dass sich besonders in den sauerstoffreien Schichten eutropher Seen der Abbau organischer Stickstoffverbindungen zu Ammoniak vollzieht (NÜMANN 1941). Offenbar begünstigen auch die sauerstoffärmeren Schichten oligotropher Gewässer bereits die Minalisierung. Aus diesem Grunde wurden auch die geringsten Mengen an organischem gelöstem N (18 mg atom) und die höchsten Ammoniakwerte im Dezember gefunden, als der Sauerstoff im Hypolimnion am meisten abgenommen hatte.

Die organismisch gebundenen N-Verbindungen liessen sich wie beim Phosphor als Differenz des gesamten und gelösten Stickstoffs bestimmen. Mit Sicherheit erkennt man auch bei vorsichtiger Beurteilung dieser Ergebnisse ein Maximum im August in 10-30 m Tiefe, das sich gleichzeitig mit einer entsprechenden Phosphorzunahme, einem Sauerstoffüberschuss, einer Silikat - und Härteabnahme einstellte.

BESPRECHUNG

Der Vrana-See gehört zu den oligotrophsten Gewässern. In seiner Nährstoffarmut ist er mit den oberen Schichten der Ozeane vergleichbar. Nur am Ende der Sommerstagnation treten in Bodennähe Spuren anorganischer P- und N-Verbindungen auf ; selbst das Nitrat, das auch in den meisten oligotrophen Seen noch in relativ grossen Mengen vorkommt, überschreitet nur wenig die Nachweisbarkeitsgrenze. Phosphor wie Stickstoff liegen in relativ grösseren Mengen nur in organischer Bindung gelöst vor. Der Abbau dieser Verbindungen geht langsam vonstatten und vollzieht sich erkennbar im sauerstoffärmeren Hypolimnion. Äusserst gering muss der Anteil von P und N sein, der sich in lebender Substanz befindet ; nachweisbar wird er nur im August, erstaunlicherweise noch bis zu 30 m Tiefe. Weitere chemische Veränderungen zeigen zu dieser Zeit an, dass ein Aufbau organischer Substanz stattfindet. Dass ungleiche Verhältnis von organismisch gebundenem zum gelösten organischen Phosphor und Stickstoff zeigt, dass die Oligotrophie eines Sees nicht so sehr durch den Mangel von P und N an sich bedingt ist, sondern viel mehr durch Unfähigkeit, die gelösten organischen Verbindungen schnell abzubauen.

Chemische Veränderungen im Hypolimnion während der Stagnationsperiode lassen auf relativ starke Zirkulationen schliessen. Es scheint auch nicht ausgeschlossen, dass zum Herbst hin kühleres Wasser des Littorals längs des Bodens in die Tiefe gleitet und das Hypolimnion teilweise gleichsam unterschichtet.

Für den Vrana-See speziell konnte der Nachweis erbracht werden, das keine Verbindung mit dem Meere besteht. Es ergaben sich auch nicht die ge-

ringsten Anhaltspunkte dafür, dass am Seegrunde unterirdische Gewässer der dalmatinischen Küste austreten (1).

Da der Vrana-See weder durch Zu-noch durch Abflüsse in seiner chemischen Zusammensetzung beeinflusst oder verändert wird, würde er sich sehr gut für limnologische Grossexperimente eignen. Eine Düngung mit Phospat z. B. könnte sich vielleicht dauernd bemerkbar machen und ev. eine völlige Umgestaltung im Nährstoffhaushalt mit sich bringen, zumal kein Eisen vorhanden ist, das die Phosphate bindet.

Auch für fischereiwissenschaftliche Experimente erweist sich der Vrana-See äusserst geeignet. Es kommen keine Forellen oder Coregonen vor, obwohl er für diese geradezu wie geschaffen ist. Bei Einsatz mit diesen Arten könnten vielleicht manche Fragen über mutativ oder modifikatorisch veränderliche Merkmale geprüft werden, abgesehen davon, dass das Experiment sich auch in wirtschaftlicher Hinsicht lohnen würde.

(1) Da im karstigen Dalmatien vielfach Gewässer versinken und an einigen Stellen in der Bucht von Fiume leichtes Süsswasser fast brodelnd mit gewaltigen Schlieren aufsteigt, wären ähnliche Quellen an sich auf Cherso wohl denkbar gewesen.

RIASSUNTO

Per la durata di un anno vennero eseguite nel Lago di Vrana (Isola di Cherso) ricerche quantitative sul contenuto in ammoniaca, nitriti, nitrati, fosfati, cloruri, silicati ed ossigeno; fosforo ed azoto organico sia libero che combinato; venne inoltre determinata la durezza dell'acqua. In base ai risultati ottenuti possiamo annoverare il Lago di Vrana tra quelli oligotrofi e per la sua povertà in sostanza organica paragonarlo all'oceano. Le combinazioni inorganiche di P e N sono sempre al di sotto dei limiti di sensibilità del metodo di analisi adoperato e soltanto alla fine del periodo di stagnazione estiva si riscontrano delle tracce sul fondo. Le combinazioni organiche solubili di P e N sono presenti in quantità relativamente grandi, invece solo una piccola parte del P e N totali è incorporata nella sostanza vivente. Viene dimostrato che l'oligotrofia è dovuta più che alla scarsità di P e di N alla inattitudine di mineralizzare rapidamente le combinazioni organiche disciolte. La scomposizione avviene in un ipolimnio povero di ossigeno.

Cambiamenti chimici nell'ipolimnio durante il periodo di stagnazione ci permettono di metterli in relazione con vivaci moti convettivi. Le ricerche chimiche ci dimostrano, contrariamente a quanto era stato supposto, che il Lago di Vrana non comunica nè col mare aperto nè con sorgenti intermittenti della costa dalmata.

LITERATURVERZEICHNIS.

AUERBACH, MAERKER, SCHMALZ 1926: Hydrographisch-biologische Bodensee-Untersuchungen II. — Verh. Naturw. Ver. Karlsruhe 30.

BIRGE und JUDAY 1914: A limnological Study of Finger Lakes of New York. — Bull. Bureau of Fisheries 32.

CECCONI 1940: Il regime idraulico del lago di Vrana. — Annali dei Lavori Pubblici Fasc. 1.

EINSELE 1941: Die Umsetzung von zugeführten, anorganischen Phosphat im eutrophen See und ihre Rückwirkungen auf seinen Gesamthaushalt. — Zeitschr. f. Fischerei Bd. XXXIX, H. 3

EINSELE und VETTER 1938: Untersuchungen über die Entwicklung der physikalischen und chemischen Verhältnisse im Jahreszyklus in einem mässig eutrophen See (Schleinsee bei Langenargen). — Int. Revue Bd. 36 H. 3-4.

ELSTER und EINSELE 1937: Beiträge zur Hydrographie des Bodensees I. — Int. Revue Bd. 135.

GROTE 1934: Der Sauerstoffhaushalt der Seen, in: Die Binnengewässer Bd. XIV.

KARCHER 1939: Untersuchung über den Stickstoffhaushalt in ostpreussischen Waldseen. — Arch. f. Hydrobiol. Bd. 35.

MEYER 1873: Der Vranasee — Mitteil. K. K. geogr. Gesellschaft, Wien Bd. XVI.

MINDER 1922: Studien über den Sauerstoffgehalt des Zürichsees. — Arch. f. Hydrobiol. Suppl. Bd. III.

NÜMANN 1941: Der Stickstoffhaushalt eines mässigeutrophen Sees (Schleinsee). — Zeitscher. f. Fisch. Bd. 39.

NÜMANN 1949: Kolorimetrische Methoden zur quantitativen Bestimmung von Silikat und organisch wie anorganisch gebundenem Phosphor und Stickstoff in Meerwasser unter Benutzung des Pulfrich-Photometers. Deutsche hydrographische Zeitschrift.

PARENZAN 1928: Il lago di Vrana nell'isola di Cherso. — Boll. di pesca. pisc. ed idrobiologia.

RUTTNER 1937: Limnologische Studien an einigen Seen der Ostalpen. — Arch. f. Hydrobiol. Bd. 32.

THIENEMANN 1928: Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen See. In: Die Binnengewässer Bd. IV.

3 0112 115456888